

CO_2-utslipp fra skogbasert bioenergi

Notat av Holger Schlaupitz, fagleder i Norges Naturvernforbund, 28.5.2010

Innledning
Bioenergi fra skog regnes ofte for å være klimanøytral, dvs. at bruken ikke påvirker klimaet. Det som da ikke tas i betraktning, er at det ved uttak av bioenergi frigjøres karbon som alternativt fortsatt kunne vært bundet i vegetasjon og skogsjord. Ethvert uttak av biomasse som fører til at karbonfrigjøring framskyndes, bidrar til at bioenergien påvirker klimaet. Begrepet *klimanøytral* kan kun brukes om energi som kommer fra biomasse som – dersom den ikke hadde blitt tatt ut av skogen – umiddelbart ville råtne og frigitt karbon. Det er sjelden tilfelle.

I dette notatet vil vi vise et regneeksempel på hvordan uttak og bruk av biomasse påvirker klimaet, forutsatt at biomassen kommer fra skog som alternativt kunne fortsette å vokse utover hogstmoden alder. Dette bør være relevant for Norge siden skogene våre er i en vekstfase etter omfattende avvirkning tidlig på 1900-tallet. Et økt hogstnivå i Norge kan derfor påvirke skogens mulighet til å legge på seg. Våre beregninger tar ikke hensyn til at eventuell økt etterspørsel etter bioenergi kan resultere i at skog hogges før de er hogstmodne. Å hogge trær som fortsatt vil kunne ta opp CO_2, vil kunne gi et dårligere klimaresultat enn vist i dette notatet. Økt hogst kan også bidra til at det frigjøres mer CO_2 fra naturlig dødt materiale i skogen enn hva som er situasjonen i dag, noe som heller ikke er inkludert i denne analysen.

Våre beregninger tar heller ikke hensyn til to andre forhold, som kan være viktige. For det første gjelder det karbonbalansen i skogsjorda, som kan påvirkes av økt omrøring og innstråling som følge av hogst. Dette er vanskelig å kvantifisere og avhenger også av hvordan hogsten utføres. Siden skogsjorda inneholder 5–6 ganger så mye karbon som den overjordiske vegetasjonen[1], vil økt jordomrøring og innstråling kunne føre til betydelig frigjøring av CO_2. Det andre viktige forholdet som ikke er inkludert, er den såkalte albedoeffekten, dvs. at endringer i jordas overflate påvirker mengden varme som absorberes. Lysere overflater, f.eks. etter hogst, kan resultere i mer utstråling av varme. Dette er med andre ord to viktige forhold som mest sannsynlig har ulikt fortegn, noe som styrker robustheten i beregningene. Dette omtales nærmere til slutt i dette notatet.

Utover dette tar vi heller ikke hensyn til at det kan brukes fossil energi i omvandlings-prosessene fra skogråstoff til drivstoff. I regneksemplene forutsetter vi at all energi som brukes, er bioenergi som kommer fra skog. Vi tar ikke hensyn til eventuelle utslipp av andre klimagasser som kan tenkes oppstå når bioenergi forbrennes eller skog råtner. Vi ser på de faktiske klimaeffektene, uavhengig av hvilke regler som er fastsatt gjennom internasjonale klimaavtaler. Vi må ellers understreke at beregningene ikke tar hensyn til eventuelle forskjeller i virkningsgradene i sluttbrukerleddet mellom fossil energi og bioenergi til samme formål.

Det er viktig å være klar over at denne analysen ikke gjelder generelt for all biomasse fra norsk skog. Resultatet vil bli et annet for f.eks. skogsavfall, for skog som tas ut med henblikk på å øke opptaket i skogen seinere, og for skog som alternativt ville falle ned.

Hva analyseres?
Hvordan har vi så bygd opp regnestykket vårt? Hva har vi inkludert og som drøftes videre i dette notatet? Jo:

- Vi må avklare hvilket tidsperspektiv beregningene skal gjelde for
- Vi må vite hvor mye CO_2 som frigjøres ved forbrenning av en gitt mengde råstoff

[1] St.meld. nr. 39 (2008–2009), s. 54.

VISIT…

LANZAROTE
Caliente.COM

- Vi må vite noe om hvor mye ekstra CO_2 som frigjøres ved uttak av biomasse, som ikke forbrennes
- Vi må vite hvordan ny vegetasjon etter hogst opptar karbon
- Vi må vite noe om virkningsgraden når energiressurser omdannes til brensel eller drivstoff
- Vi må vite hvordan CO_2 i atmosfæren oppfører seg etter et utslipp, dvs. hvor lenge det vil være der før det eventuelt tas opp i jord, hav eller vegetasjon

I disse beregningene sammenlikner vi ulike biobaserte energityper med fossile energityper. Energitypene som inngår, er:

- Fossil diesel/fyringsolje
- Biodiesel (syntetisk) uten ekstern utnyttelse av spillvarme
- Biodiesel (syntetisk) med ekstern utnyttelse av spillvarme
- Biobrensel (halvparten pellets og halvparten ved)
- Pyrolyse: Bioolje (53 prosent) og biokull (47 prosent), der alt brennes
- Pyrolyse: Bioolje (53 prosent) som brennes, og biokull (47 prosent) som lagres i jord som jordforbedringsmiddel

Ulikt tidsperspektiv

Når vi skal se på klimaeffekten av bioenergi, må vi ta hensyn til at utslipp og opptak av CO_2 oppstår i ulike faser. Forbrenning skjer momentant, men det frigjøres også CO_2 i en etterfølgende periode som følge av at røtter, stubber og hogstavfall råtner. Opptak av CO_2 oppstår i etterfølgende vekstperiode når nye trær vokser opp. Etter samme mønster som klimaeffekten av ulike gasser måles, må klimaeffekten av frigjort karbon fra forbrenning av biomasse betraktes aggregert over gitte tidsperioder. I dette regne-eksemplet gjør vi det for hhv. 20, 100 og 200 år. Det er vanlig å bruke 100 år som tidsperspektiv når konsekvensene av ulike klimagasser som metan og lystgass vektes i forhold til karbondioksid.

Hva er CO_2-innholdet per energienhet?

Når vi skal beregne klimaeffektene for ulike energityper, må vi vite hvor mye CO_2 som frigjøres ved forbrenning. Dette varierer fra energikilde til energikilde. For lett fyringsolje og for diesel er tallet 0,268 kg/kWh.[2] For helt tørr biomasse regner vi med 0,355 kg/kWh, mens vi for brensel (ved/pellets) og råstoff for pyrolyse regner 0,360 kg/kWh pga. noe høyere fuktighet.[3] For fossil energi forutsetter vi at alle innsatsfaktorene i verdikjeden er fossil energi, mens vi for bioenergi forutsetter at alle innsatsfaktorene er biomasse fra skog.

CO_2 som frigjøres i skogen etter hogst

Ved hogst av tømmer vil det bli igjen biomasse i skogen som det ikke er økonomisk eller økologisk forsvarlig å ta ut. Stubber og røtter for 28 prosent av biomassen, stammer står for 43 prosent, mens bark, greiner og bar/lauv står for 29 prosent (St.meld. nr. 39 (2008–2009), s. 117). Hensynet til naturmangfoldet og ønskene om å beholde næringsstoffer i skogen tilsier at ikke all biomasse over bakken kan utnyttes. Vi forutsetter at 60 prosent av total biomasse kan utnyttes. Karboninnholdet i den gjenværende delen vil enten brytes ned og omdannes til CO_2 eller overføres til jorda. Med støtte i en finsk artikkel[4] antar vi at 5 prosent av karbonmengden i hogstavfall overføres til et permanent karbonlager i skogsjorda. Vi forutsetter at mengden skogsavfall (inkludert stubber og røtter) som brytes ned og omdannes til CO_2, følger en lineær funksjon med høyest nedbryting i år 0 og ingen nedbryting i år 100 etter hogst.

---

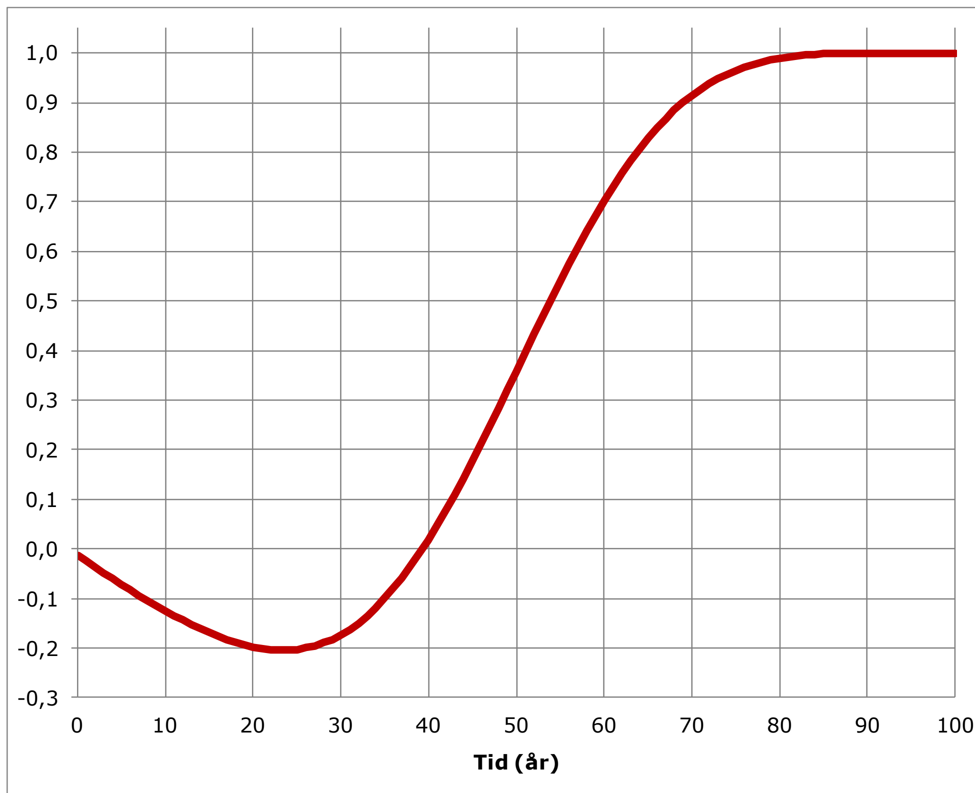
[2] Tall for fossil diesel/fyringsolje er tatt fra Gemis 4.5.

[3] Energiinnhold i bioenergi er estimert med støtte i Belbo og Gjølsjø (2008), dvs. 5,32 kWh/kg for helt tørr biomasse og noe lavere for ved/pellets. Vi bruker energimengden tilsvarende *nedre brennverdi* i alle tilfeller. Karboninnholdet i biomasse er satt til 0,515 kg/kg, basert på opplysninger i Hohle (2001, s. 81).

[4] Liski mfl. (2005), s. 172.

Opptak av karbon i ny vegetasjon
Forutsetningene om trærnes evne til å ta opp karbon påvirker det totale klimaregnskapet, spesielt på kort sikt. I våre beregninger tar vi utgangspunkt i at trærne oppnår sitt maksimale akkumulerte karbonopptak etter 100 år, og at dette regnes som hogstmoden alder. I praksis hogges trærne ofte tidligere enn dette – før de har nådd sitt maksimale karbonopptak. Vi regner med at skogens karbonbalanse er konstant etter den har nådd en alder på 100 år, dvs. at skogen verken opptar eller avgir karbon, men holder det som er bundet. Det er imidlertid sannsynlig at skog kan bidra med et nettoopptak av karbon også etter en alder av 100 år. En artikkel i fagtidsskriftet Nature[5] viser at karbonregnskapet for de fleste studerte skoger er positivt når skogens alder er mellom 15 og 800 år. Vi må imidlertid legge til at skogbranner kan få store klimakonsekvenser dersom skogen er svært gammel og inneholder mye karbon.

I beregningene legger vi til grunn at det akkumulerte opptaket i ny vegetasjon – fratrukket CO_2-utslipp fra råtning av kvister etc. som faller av den nye vegetasjonen – følger en S-kurve, der opptaket er minimalt de første 10–15 åra etter hogst. Opptaket er sterkest etter 50 år og avtar til nær null etter 90 år. Når denne opptakskurven legges sammen med den tidligere omtalte lineære kurven for CO_2-frigjøring ved nedbryting av skogsavfall etc. fra tidligere hogst, får vi en netto opptakskurve som vist i figur 1. Den viser nettoopptaket av CO_2 i skogen fra 0 og 100 år etter hogst.



Figur 1: Akkumulert nettoopptak av CO_2 i skog etter hogst

Energieffektiviteten "fra brønn til tank"
Når vi skal analysere klimaeffekten av ulike energityper, må vi vite noe om virkningsgraden ved utvinning og omdanning av råstoff til brensel (også kalt "well to wheel" eller "brønn til tank") som gjelder for de ulike energitypene. Dette er viktig også for biodrivstoff. Jo høyere virkningsgrad, jo mer av energien kan brukes til å erstatte fossil energi. Jo lavere virkningsgrad, jo mer biomasse trengs for å erstatte en gitt mengde fossil energi.

[5] Luyssaert mfl. (2008). [Kommentar per janaur 2011: Merk at artikkelen gjelder naturskoger og inkluderer karbonbalansen i skogsjord.]

Vi opererer med følgende energityper med tilhørende virkningsgrader[6]:

Fossil diesel/fyringsolje:	90 prosent[7]
Biodiesel uten ekstern utnyttelse av spillvarme:	47 prosent[8]
Biodiesel med ekstern utnyttelse av spillvarme:	70 prosent
Biobrensel (pellets/ved):	89 prosent[9]
Pyrolyse: Bioolje og biokull, der alt brennes:	76 prosent[10]
Pyrolyse: Bioolje brennes, biokull lagres:	42 prosent

Den første typen biodiesel gjelder drivstoff som produseres i et anlegg tilsvarende det anlegget som selskapet Xynergo har hatt planer om å etablere på Follum ved Hønefoss. Ifølge selskapet vil den totale virkningsgraden for omdanningsprosessen i fabrikken bli på 51 prosent. Denne kan økes dersom spillvarme kan utnyttes eksternt, f.eks. i form av fjernvarme som erstatter oljefyring. Vi viser derfor et eksempel der virkningsgraden økes til 70 prosent. Dette er en optimistisk forutsetning, som forutsetter at det er behov for varme store deler av året, og det er heller ikke slik at det er olje som nødvendigvis er alternativet til utnyttelse av spillvarmen. Det kan også være varmepumper etc.

En videre måte å bruke biomasse på, er å la den gjennomgå en pyrolyseprosess. Vår kilde oppgir at den gjenværende, nyttige energimengden etter pyrolyse fordeler seg på hhv. 47 prosent i form av biokull og 53 prosent i form av bioolje, noe vi også forutsetter. Bioolje og biokull kan erstatte fossile energibærere. Alternativt kan biokullet pløyes tilbake i jorda som jordforbedringsmiddel. Jorda vil da overta karbonet, hvor det kan holdes bundet i meget lang tid, kanskje i flere tusen år.[11] Dersom biokullet pløyes tilbake til jorda, vil en betydelig del av energiinnholdet i råstoffet gå tapt. Det er verd å nevne at vi i våre virkningsgrader forutsetter at overskuddsvarmen i pyrolyseprosessen ikke utnyttes, utover til intern bruk. Dersom det er grunnlag for å utnytte overskuddsvarmen, vil virkningsgraden for pyrolysebaserte energiformer stige.

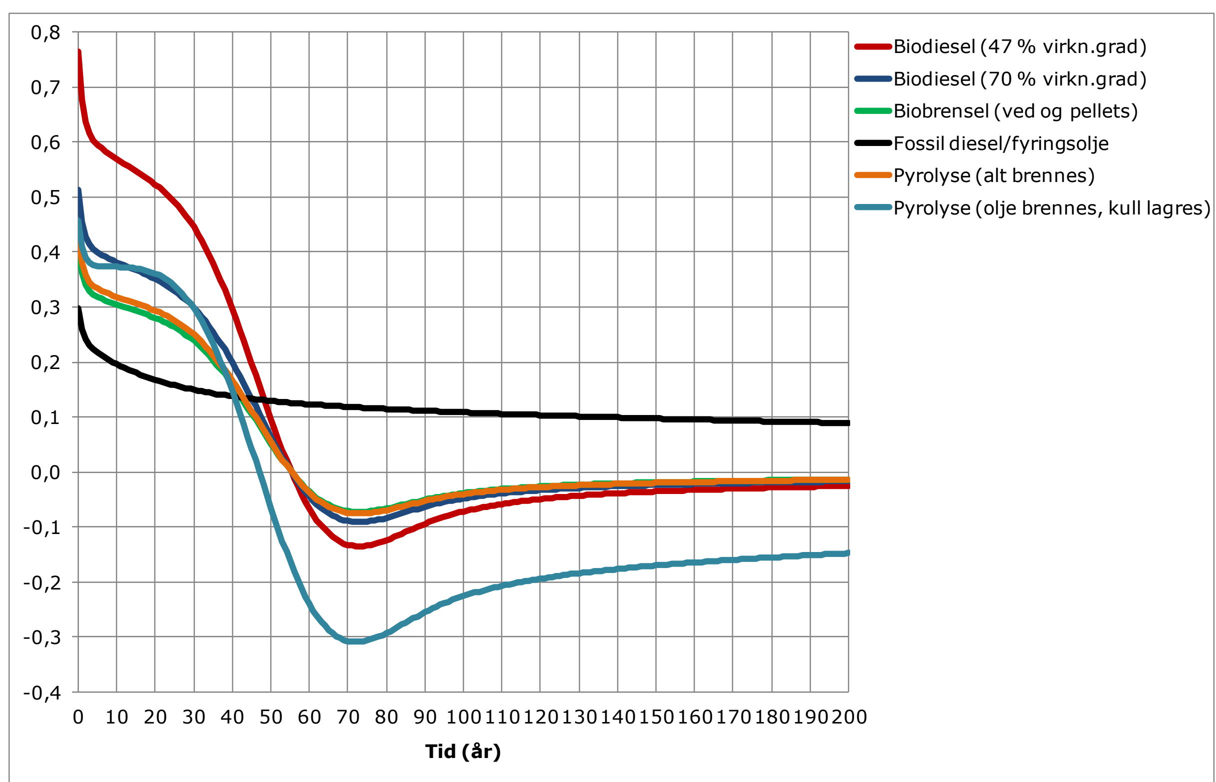
Korrigere for karbonopptak i jord, hav og vegetasjon
For å få et totalt bilde av hvor stor klimapåvirkning et gitt CO_2-utslipp vil ha i løpet av en gitt tidsperiode, må vi også korrigere for generelt opptak av CO_2, der vi baserer oss på IPCCs impuls-respons-funksjon.[12] Denne funksjonen sier noe om hvor mye CO_2 som tas opp i jord og hav, og hvor mye som vegetasjonen tar opp ekstra pga. økt fotosyntese, som følge av en gitt mengde CO_2-utslipp. Denne funksjonen er ikke konstant. Det er

[6] Virkningsgraden er definert som tilgjengelig energimengde i energitypen dividert på summen av og energiinnholdet i energitypen og energimengden som er gått med til å produsere energitypen. Ingen virkningsgrader inkluderer transport av ferdig energivare fram til sluttbruker. Virkningsgradene tar høyde for at vi for biobrensel og biodiesel forutsetter at alle innsatsfaktorer er bioenergi fra skog.
[7] Tall for fossil diesel/fyringsolje er estimert med støtte i Gemis 4.5.
[8] Tall for biodiesel er basert på informasjon i e-post fra teknisk direktør Gjermund Røkke i Xynergo, datert 27.4.2010, der en virkningsgrad i fabrikk oppgis til 51 prosent. Utvinning og transport av råstoff til fabrikk samt produksjon av innsatsfaktorer er ikke inkludert i dette tallet. Med støtte i Gemis 4.5 har vi estimert transport av råstoff og produksjon av innsatsfaktorer. Vi har da forutsatt en transportdistanse for råstoff på 120 km fram til fabrikk. Dette er samme distanse som forutsettes for store produksjonsanlegg i rapporten *Fra biomasse til biodrivstoff – Et veikart til Norges fremtidige løsninger* (2007).
[9] Tall for biobrensel (ved/pellets) er estimert med støtte i databasen Gemis 4.5, der vi forutsetter en gjennomsnittlig transportdistanse på 60 km.
[10] For pyrolyse er hovedkilden Grønlund, Knoth de Zurrak og Rasse (2010, s. 26–27). Denne er supplert med informasjon fra Arne Grønlund (e-post datert 10.5.2010). For å være konsekvente har vi imidlertid brukt en høyere brennverdi for biomassen enn hva den omtalte rapporten gjør. Tillegg for utvinning og transport av råstoff er estimert med støtte i Gemis 4.5, med en forutsatt transportdistanse på 60 km.
[11] Grønlund, Knoth de Zurrak og Rasse (2010, s. 24). Merk også at bioolje kan raffineres videre til biodiesel, men det krever ytterligere energi. Det er også mulig å øke andelen bioolje på bekostning av biokull i pyrolyseprosessen.
[12] Mottatt av professor Terje Koren Berntsen ved UiO/Cicero (e-post datert 30.10.2009).

nærliggende å anta at opptaket i jord og hav kan nå et metningspunkt. Vi har derfor gjort tilleggsberegninger for et ekstremtilfelle, der vi har forutsatt at alt utslipp av CO_2 havner i atmosfæren.

Resultater: Bioenergi sett i forhold til fossil diesel/fyringsolje
Figur 2 oppsummerer effektene som er inkludert i beregningene i dette notatet. Arealet under linjene angir mengden CO_2 som fortsatt befinner seg i atmosfæren til gitte tider etter forbrenning av en gitt mengde energi av ulik type. Det oppstår negative verdier fordi økt CO_2-innhold i atmosfæren gir større opptak i hav, jord og vegetasjon. Det samme gjelder når biokull fra pyrolyse pløyes tilbake til jorda.

Den totale, relative klimaeffekten av biobaserte energityper når oppvarmingsvirkningen summeres for ulike tidsperspektiv, sett i forhold til bruk av fossil olje[13], vises i figur 3. Søylene som vises her, er framkommet ved å dividere arealet under kurvene for de alternative energiformene i figur 2 på arealet under kurven for fossilt diesel/fyringsolje. Er faktoren høyere enn én, oppstår det en oppvarmingseffekt som er større enn hva som er tilfelle for fossil olje, når konsekvensene oppsummeres i løpet av de tre tidsperioden som er angitt, dvs. 20, 100 og 200 år.



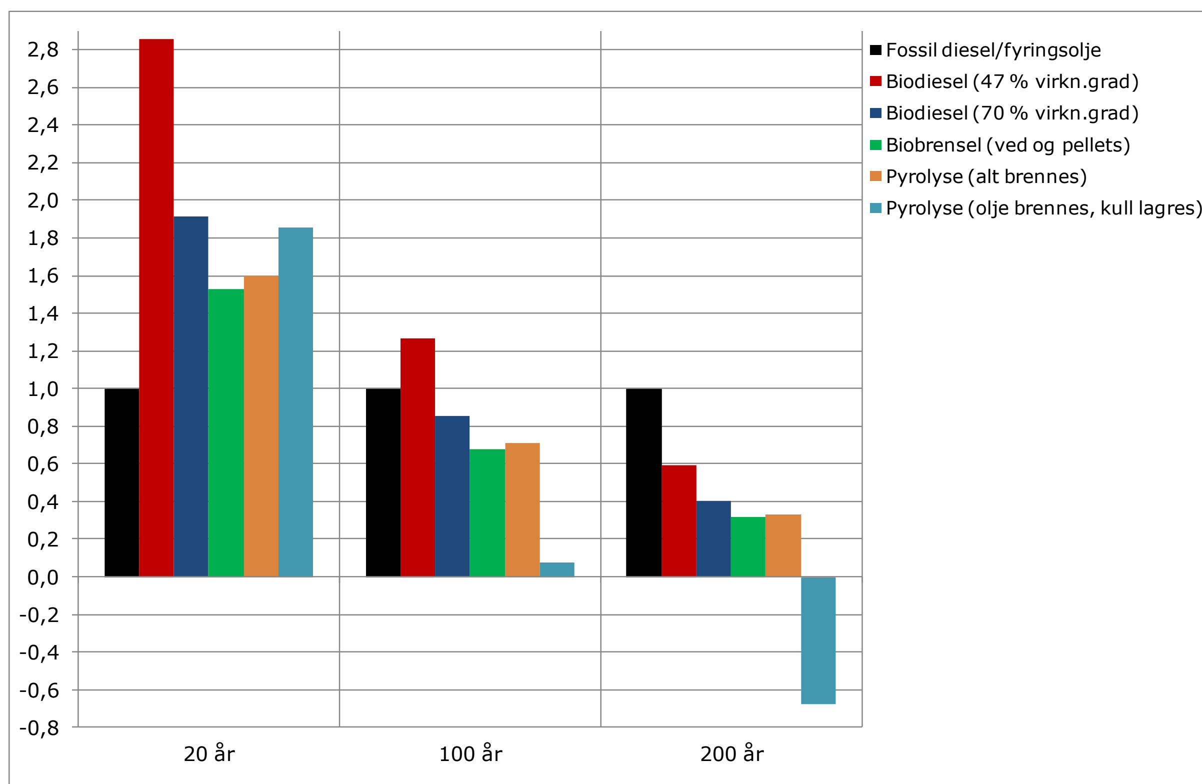
Figur 2: CO_2-mengde i atmosfæren (kg/kWh), 0–200 år etter utslipp

Hva blir klimaeffekten av å bruke en gitt mengde bioenergi til ulike formål?
Vi har nå beskrevet klimaregnskapet for én enhet bioenergi sett i forhold til fossil diesel/fyringsolje. Denne betraktningsmåten kan være interessant så lenge det ikke er begrensninger i råstofftilgangen. Som nevnt innledningsvis gjelder beregningene i dette notatet for uttak av biomasse fra hogstmoden skog som alternativt kan bli stående. Dette sammen med det faktum at det er fysiske begrensninger i hvor mye biomasse som overhodet kan tas ut, tilsier at vi også bør beregne klimaeffektene er av å bruke *en gitt mengde* biomasse som erstatning for fossil olje. Virkningsgraden vil da bestemme hvor mye fossil olje som kan erstattes.

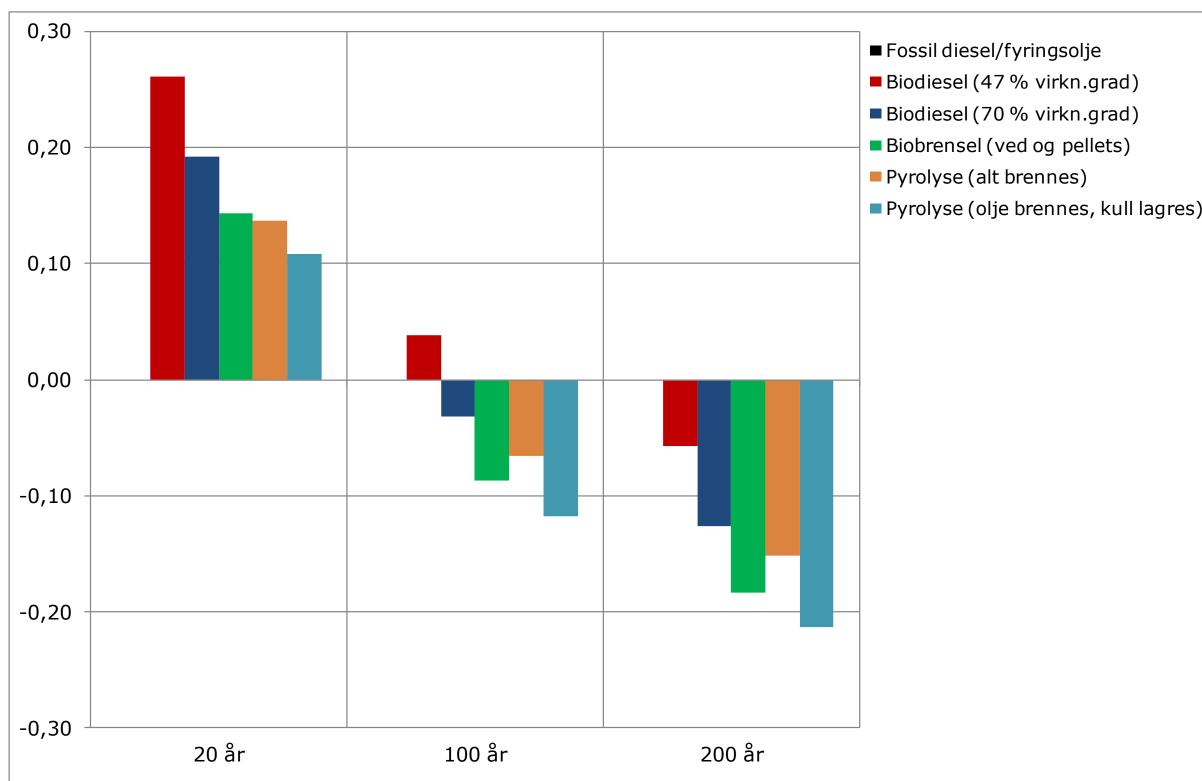
---

[13] Merk at vi i alternativet med brenning av bioolje og biokull forutsetter at også biokull erstatter fossil fyringsolje og ikke fossilt kull. Dette gjøres for å forenkle sammenlikningene.

Figur 4 oppsummerer hvilke endringer i klimagassutslipp som oppstår ved å bruke biomasse med en brennverdi på 1 TWh (som tilsvarer i underkant av 0,5 mill. m^3 trevirke), sett i forhold til om skogen kan fortsette å stå og en heller må bruke fossil olje.



Figur 3: Total, relativ klimaeffekt av ulike energityper og ulikt tidsperspektiv



Figur 4: Absolutt endring i CO_2-utslipp (mill. tonn) ved bruk av 1 TWh biomasse til ulike formål og med ulikt tidsperspektiv

Konklusjon og oppsummering
Bruken av fossil energi må fases ut. Da er det viktig at vi velger tiltak som gir et vesentlig bedre klimaresultat enn tidligere, på både kort og lang sikt.

Vi ser av figur 3 at alle de biobaserte energitypene kommer dårligere ut enn fossil energi når klimaeffektene oppsummeres i et 20-årsperspektiv. Biodiesel med 47 prosent virkningsgrad gir en klimaeffekt som er nærmere tre ganger så stor. Dersom perspektivet utvides til 100 år – som er samme tidsperspektiv som er fastsatt internasjonalt for vekting av de ulike klimagassene – er det bare biodiesel med 47 prosent virkningsgrad som kommer dårligere ut enn fossil olje. De andre kommer noe bedre ut. Biodiesel med 70 prosent virkningsgrad har en klimapåvirkning som er ca. 15 prosent lavere enn fossil diesel, mens biobrensel (ved/pellets) og bioolje og biokull fra pyrolyse kommer ca. 30 prosent bedre ut enn fossil fyringsolje. Dersom bruk av biomasse i en pyrolyseprosess fører til at biokullet pløyes tilbake til jorda, vil bioolje som restprodukt bli nesten klimanøytralt. Utvides perspektivet til 200 år, blir alle bioenergiformene betydelig bedre enn fossil energi (i størrelsesorden 40–70 prosent), med unntak av bioolje fra pyrolyse når biokullet tilbakepløyes. Sistnevnte måte å bruke biomasse på kan sies å være karbonnegativ i et 200-årsperspektiv.

Når vi ser på hva en bestemt mengde biomasse kan brukes til i form av utfasing av fossil olje og eventuelt binding av karbon fra biokull i jord – sett i forhold til om biomassen kan fortsette å bli stående – blir bildet omtrent det samme. Det er imidlertid interessant å se at bruken av biokull til jordforbedringsmiddel på lengre sikt (100 og 200 år) oppnår en noe større reduksjon i CO_2-mengden i atmosfæren enn om den erstatter fossil fyringsolje.

Uansett er bioenergi en knapp ressurs som må omdannes med høy virkningsgrad. Virkningsgraden "fra brønn til tank" har stor innflytelse på mengden CO_2 som frigjøres sett i forhold til bruk av fossil energi, særlig når tidsperspektivet er kort (f.eks. 20 år). Ved omdanning av tre til biodrivstoff må spillvarmen utnyttes og erstatte annen energi til oppvarming, f.eks. i kombinerte biodrivstoff- og varmesentraler med fjernvarmetilknytning.

Vi må igjen understreke at beregningene i dette notatet gjelder for uttak av biomasse fra hogstmoden skog (definert til 100 år med de forutsetningene vi har gjort i dette notatet). Stor vekst i bruken av bioenergi kan resultere i at trær hogges tidligere. Det reduserer skogens CO_2-opptakspotensial. Økt hogst kan også føre til at mer naturlig dødt materiale i skogen råtner. I sum kan dette føre til dårligere klimaresultat for skogbasert bioenergi enn vist i dette notatet. For f.eks. skogsavfall, for skog som tas ut med henblikk på å øke opptaket i skogen seinere, og for skog som alternativt ville falle ned, vil klimaresultatet sannsynligvis bli betydelig bedre enn vist her.

Hvilket tidsperspektiv bør konsekvensene betraktes i?
Det er vanskelig å fastsette hvilket tidsperspektiv en skal betrakte konsekvensene i. Dersom det er viktig å hindre temperaturstigning på kort sikt fordi dette kan sette i gang irreversible klimaeffekter, bør vi betrakte konsekvensene over et kort tidsperspektiv. I så fall bør vi unngå å bruke skog til energiformål dersom skogen alternativt kan fortsette å binde eller holde på karbon. Dersom det nå satses massivt på skogbasert bioenergi, vil det bli vanskeligere å få til en faktisk reduksjon i klodens klimagassutslipp i løpet av få år. Dersom konsekvensene på kort sikt ikke er viktige, men det er den langsiktige effekten som teller, må konsekvensene betraktes i et langt tidsperspektiv.

Usikkerhet og forenklinger om karbonbinding
Forutsetningen om at trærne hogges når de er utvokst, er optimistisk, i og med at disse av økonomiske årsaker gjerne hogges noe tidligere. Forutsetningen om at skogens karbonbalanse er konstant etter den har nådd en alder på 100 år, kan også sies å være gunstig, all den tid det er sannsynlig at også gammel skog vil fortsette å binde karbon.

Til gjengjeld forutsetter vi ikke at det ved nyplanting etter hogst er mulig å plante tettere slik at total bundet masse etter nye 100 år er større enn hva som var bundet før hogst. Det er grunn til å anta at disse forenklingene/feilkildene kan være i omtrent samme størrelsesorden og dermed i nærheten av å utjevne hverandre.

Vi har i beregningene ikke tatt høyde for at mer gjødsling av skog kan bidra til raskere tilvekst etter hogst enn hva som er vanlig i dag. Gjødsling av skog reiser imidlertid andre miljømessige spørsmål som i så fall måtte blitt tatt med i regnestykket.

Når det gjelder korrigering for karbonopptak i jord, hav og vegetasjon, har vi som nevnt gjort tilleggsberegninger der vi ikke har tatt hensyn til IPCCs impuls-respons-funksjon, men forutsetter at alt utslipp av CO_2 havner i atmosfæren. Beregningene viser at de biobaserte energitypene da vil komme dårligere ut enn om vi inkluderer impuls-respons-funksjon i regnestykket.

Dersom produksjonen av biodiesel kombineres med karbonfangst og -lagring, vil klimaresultatet bli bedre enn hva vi har kommet fram til i dette notatet.

Albedoeffekt og karbontap fra jord – som ikke er inkludert i beregningene
Ifølge en artikkel i Nature[14] kan albedoeffekten fra skog føre til mindre refleksjon av sollys fra jorda, som fører til økt temperatur på et nivå som oppveier om lag halve klimaeffekten av karbonet som den samme skogen lagrer, dersom effektene betraktes i løpet av et omløp (fra hogst til hogst). Dette gjelder for boreal skog i Nord-Europa. Effekten er størst der snødekket har lengst varighet. For boreal skog i store deler av Canada og tidligere Sovjetunionen er oppvarmingseffekten av redusert refleksjon større enn nedkjølingseffekten som følger av at økt skogutbredelse gir mer karbonbinding. Dette momentet kan tilsi at det er bedre at skog hogges slik at arealene gir større refleksjon av varme. Men: Det er mye usikkerhet om dette. Temperatur og vind påvirker hvorvidt snø faller av fra trærne, og effekten kan variere, avhengig av treslag. Framtidig utbredelse av snødekke og snødekkets varighet har også mye å si.

Dette leder oss også inn på et annet moment, nemlig skogsjorda som karbonlager. Som nevnt innledningsvis inneholder skogsjorda 5–6 ganger så mye karbon som den over-jordiske vegetasjonen. Dersom det skulle bli interessant å hogge mer skog for å oppnå mer refleksjon av varme, kan mer av jorda bli eksponert for sollys, noe som kan øke karbonlekkasjen fra jorda. Også CO_2-mengden som frigjøres fordi naturlig dødt materiale råtner, kan da øke.

I våre beregninger har vi ikke tatt hensyn til albodoeffekten, og vi har heller ikke tatt hensyn til at inngrep i skog kan påvirke karbonbalansen i jorda. Dette er med andre ord to usikkerhetsmomenter som kan være store, men som trekker i hver sin retning. Uansett mener vi det er riktig å peke på at en mer skånsom form for hogst sannsynligvis vil gi lavere karbontap enn om hogsten fører til store inngrep i skogsjorda.

For å få bedre kunnskap om de totale klimaeffektene av bioenergi trengs det mer kunnskap om hva hogst betyr for refleksjon av varme, og om hva hogst betyr for skogsjorda som karbonlager.

[14] Betts (2000), s. 189.

Litteraturliste

Belbo, Helmer og Simen Gjølsjø (2008): *Trevirke – energitetthet og brennverdier.* Ås: Norsk institutt for skog og landskap: http://www.skogoglandskap.no/filearchive/viten-01-08_trevirke_brennverdier.pdf

Betts, Richard A. (2000): *Offset of the potential carbon sink from boreal forestation by decreases in surface albedo.* Nature vol. 408, s. 187–190

Fra biomasse til biodrivstoff – Et veikart til Norges fremtidige løsninger (2007): http://www.zero.no/publikasjoner/fra-biomasse-til-biodrivstoff

Gemis 4.5: *Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme.* Öko-Institut: http://www.gemis.de/

Grønlund, Arne og Katrin Knoth de Zurrak og Daniel P. Rasse (2010): *Klimatiltak i jordbruket – binding av karbon i skogsjord.* Ås: Bioforsk: http://www.bioforsk.no/ikbViewer/Content/64715/Klimatiltak%20i%20jordbruket%20&%2365533;%20Binding%20av%20karbon%20i%20jordbruksjord.pdf

Hohle, Erik Eid (red.) (2001): *Bioenergi – Miljø, teknikk og marked.* Brandbu: Energigården

Liski, Jari, Taru Palusuo, Mikko Peltoniemi og Risto Sievänen (2005): *Carbon and decomposition model Yasso for forest soils.* Ecological Modelling 189, s. 168–182: http://www.mm.helsinki.fi/MMEKO/KURSSIT/ME406/Liski_2005Yasso.pdf

Luyssaert, Sebastiaan, E.-Detlef Schulze, Annett Börner, Alexander Knohl, Dominik Hessenmöller, Beverly E. Law, Philippe Ciais og John Grace (2008): *Old-growth forests as global carbon sinks.* Nature vol. 455, s. 213–215

St.meld. nr. 39 (2008–2009): *Klimautfordringene – landbruket en del av løsningen.* Oslo: Landbruks- og matdepartementet: http://www.regjeringen.no/pages/2196816/PDFS/STM200820090039000DDDPDFS.pdf